

量子信息科学在中国科学技术大学的兴起和发展*

郭光灿[†]

(中国科学技术大学 中国科学院量子信息重点实验室 合肥 230026)

摘要 文章介绍了中国科学技术大学的量子信息科学研究是如何兴起和发展的,着重介绍了在量子信息的基础理论、量子密码、量子纠缠、量子隐形传态、量子处理器和量子信息的应用等方面所取得的研究成果.

关键词 量子信息,量子纠缠,量子通信,量子计算

The rise and development of quantum information science in the University of Science and Technology of China

GUO Guang-Can[†]

(Key Laboratory of Quantum Information, Chinese Academy of Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract A review is presented of the rise and development of quantum information science in the University of Science and Technology of China. Achievements in research on fundamental theory, quantum cryptography, quantum entanglement, quantum teleportation, quantum processors, and applications of quantum information are described.

Keywords quantum information, quantum entanglement, quantum communication, quantum computation

1 引言

上世纪 80 年代,正当电子计算机按每 18 个月运行速度翻一番的摩尔定律而蓬勃发展之际,物理学家就杞人忧天地问:摩尔定律是否会终结?他们的研究结论是:摩尔定律必然会失效,而量子计算机可望成为后摩尔时代的新型计算工具.当时信息领域的科学家们对此并不予理会和关注,因为其时摩尔定律正处于辉煌的顶盛时期.然而,物理学家们仍然孜孜不倦地努力,终于诞生了量子信息这门新兴交叉学科.

1994 年,Shor 提出量子并行算法^[1],并证明可用来实现大数因子分解,从而轻易地攻破目前广泛使用的 RSA 公开密码体系,这门新兴学科的巨大威力震惊了整个国际学术界,并引起政界、军界和商界的极大关注,从此量子信息科学便迎来迅猛发展的新时期,迄今方兴未艾!

我们在上世纪 90 年代量子信息刚刚在国际上

悄然兴起之际就投入到这个新兴领域的研究行列之中,并于 1997 年和 1998 年先后在《Phys. Rev. Lett.》上提出“量子避错编码原理”和“量子概率克隆原理”,引起国际学术界的高度重视.1999 年,中国科学院开始在我校创建国内第一个从事量子信息研究的量子信息重点实验室,这个极富有前瞻性的战略部署开辟了我校量子信息研究的新局面.在此之前,自我回国归来所组建的研究小组只有一台电脑,我们坐着冷板凳,默默耕耘了 15 年之久.2001 年作为首席科学家单位,我校承担了科技部“国家重点基础研究发展计划”项目(“973”项目):“量子通信与量子信息技术”,这个由国内 17 个单位 50 多位学术骨干组成的研究团队不仅取得一系列重要成果,而且培养出许多杰出的年青学术骨干,在其后国家重

* 国家重点基础研究发展计划(批准号 2006CB921900)、国家自然科学基金委员会创新研究群体(批准号:60621064)资助项目,中国科学院知识创新工程资助项目

2008-06-10 收到

[†] Email: gcuo@ustc.edu.cn

点基础研究计划“量子调控”的实施中由此研究团队衍生出 5 位首席科学家。

本世纪初,我校以中国科学院百人计划从奥地利引进杰出的年青学术带头人潘建伟博士,他随后在“合肥微尺度国家实验室”建立“量子物理与信息”研究组,并在多光子纠缠方面不断地做出国际领先水平的成果。该研究组与中国科学院量子信息重点实验室共同推进了我国量子信息学科的发展,也成为我校物理学科中特色鲜明成果丰硕的新增长点。本文将简要介绍我校在量子信息领域中已取得的主要研究成果。

2 首个量子信息领域的国家奖

2.1 提出能有效抑制环境噪声的量子避错编码原理^[2]

量子相干性在环境作用下会不可避免地消失,这种消相干效应是量子计算机和量子信息系统实际应用的主要障碍。量子编码是有效克服消相干的有效途径。国际学术界提出基于独立消相干的量子纠错编码。我们发现在集体消相干过程中存在有不会发生消相干的“相干保持态”(又称“无消相干子空间”,DFS),并基于此发现提出量子避错编码原理,成为迄今三种不同原理的量子编码之一。美国著名的 Los Alamos 和 NIST 实验室的三个研究组分别在光子、离子和原子核体系中证实了这个编码的正确性,三个实验均发表在《Science》上^[3],我们的论文作为原始性工作被引用。

2.2 提出能有效提取量子信息的概率克隆原理^[4]

量子不可克隆定理为量子信息提取设置了不可逾越的障碍,于是学术界提出不精确克隆的量子普适克隆原理,其克隆效率为 1,但保真度总是小于 1。我们提出概率量子克隆原理,可以某种概率精确克隆量子信息,即克隆效率总小于 1,但保真度为 1。国际学术界称之为“段-郭量子克隆机”,最大克隆效率称为“段-郭界限”。我们还在实验上研制成功这两类量子克隆机,验证了理论预言的正确性^[5],被国际学术界誉为“本领域最激动人心的最新进展之一”^[6]。

2.3 提出能有效抑制腔损耗影响的腔量子电动力学(QED)量子处理器新方案^[7]

腔 QED 是种理想的量子处理器,但腔的损耗引

起量子信息的泄漏阻碍其实际运行,为此要求腔的 Q 值要很高,现有的技术难以达到。我们提出一种能抑制腔损耗影响的新方案,并证明现有技术可以实现。法国巴黎高师的著名学者、法兰西院士 Haroche 研究组很快在实验上证实这个方案的正确性^[8]。我们的论文成为该研究方向后续工作必引用原始的论文,迄今已被 SCI 他引 260 余次。

2003 年上述成果以“量子信息技术的基础研究”为题目荣获了国家自然科学二等奖。

3 量子密码

3.1 实现从北京到天津 125km 商用光纤的量子密钥分配^[9]

量子密码是量子信息领域中最可能得到实际应用的技术。美国人将“量子加密”称为“改变人类未来”的新技术。量子密码原理已在实验室内演示成功。目前国际学术界正在研究走向实用进程中的关键科学和技术问题。光纤量子密钥分配研究中最关键的问题是:现在广泛研制的等臂 MZ 干涉仪虽然安全但稳定性很差,无法在商用光纤上运行,而改进后的返回式光学系统虽然解决了稳定性问题,但其安全性却出现了漏洞。我们解决了这个稳定性和安全性统一的难题。在实验上研究了光纤系统不稳定性的物理根源,在理论上给出稳定性条件,进而设计出满足稳定性条件的迈克逊-法拉第干涉仪,在实验室内实现 150km 的量子密钥分配,在北京与天津之间的 125km 商用光纤上实现了量子密钥分配和加密图像传送。这是迄今国际上报道的最远距离实用光纤量子密钥分配。

3.2 局域量子保密通信网在北京测试成功

我们利用自己发明的量子网络路由器和单向传输、抗干扰的 F-M 量子密钥分配系统,于 2007 年 3 月份在北京完成了国际上第一个多(4 个)节点、无中转、可同时、任意互通的量子保密通信网的测试性运行,取得了很好的通信效果。这次测试是在中国网通公司的商用通信光纤线路上实现的,节点间距离分别为 43, 32, 40, 32km,对应的误码率码率分别为 7.7%, 4.1%, 6.6%, 2.4%。测试显示,系统在没有人干预的条件下,可以长期稳定运行。

3.3 无共享参考系的量子通信的实验实现^[10]

在 1km 的光纤中,利用偏振和时间两个模式均

有纠缠的光子对实验,实现了 BB84 量子密钥传输的一种更抗干扰的改良方案. 该量子密码不受光纤扭曲、旋转或者光纤本身缺陷的影响,通信双方也不需要精确的同步时间,从而大大降低了通信的复杂度. 无论外部环境如何变化,光纤通信双方总有办法取得需要的密码. 此外,我们还给出了量子通信方案的绝对安全的理论论证,避免了现有光纤量子通信的安全性隐患.《Phys. Rev. Lett.》审稿人认为,该成果是“非常出色的”;具有特殊的价值”.

4 量子纠缠源的制备和操控

量子纠缠是量子信息领域中最重要资源. 当两个或多个粒子处于纠缠态时,对其中的一个粒子进行操作,其他的纠缠粒子不管位于何处,其量子态会立即发生相应的变化. 因此,彼此纠缠的粒子之间便由这种基于量子非局域性的内禀通道构成一个量子网络,它可以实现量子通信(即传送量子信息),也可以实施分布式的量子计算. 自从量子信息作为新兴学科诞生以来,量子纠缠便成为国际学术界研究的焦点. 我校研制成功高亮度的光子纠缠源. 连续纠缠光子源,每秒 12.8 对,对比度为 95%;脉冲纠缠光子源,每秒 1.4 万对,对比度 87%,在国际上处于领先水平.

4.1 量子信息传输的奇特现象

两个纠缠的光子构成一条量子通道,通过对各个光子的操作,可实现许多新奇的信息传输功能. 1997 年,在实验上实现了所谓“量子隐形传态”,即将未知量子信息传送到远处的纠缠光子上而原先携带该量子信息的物理载体却留在原处不被传送. 我们进一步研究了量子信息传输的许多有趣现象:(1)在实验上实现了单光子量子态的远程操纵,即局域地操作其中一个纠缠光子,可将远处的另一个纠缠光子制备在任意态上^[11](2)局域地对一个纠缠光子实施任意相位旋转操作,可将这个操作传送到远处,旋加在另一个光子态上^[12](3)在实验上演示了当纠缠通道被损坏时,可通过单光子局域操作来实现纠缠纯化,而不必通过非局域的操作^[13].

4.2 多光子物理学的研究进展^[14]

多光子量子态具有许多重要性质,例如 N 个光子态的干涉所呈现的德布罗意波长减少到 $1/N$,这可使相位测量达到海森伯极限的精度,用于光学刻

蚀,其精度可提高到 $1/N$. 光子数越来越多的量子态,蕴含着越丰富的量子现象,但制备也更为困难. 我们在理论上提出一种所谓“NOON 态投影测量方法”,可用来制备和识别多光子量子态,在实验上演示了四光子和六光子德布罗意波长,并将著名的两光子洪-区-曼德尔(Hong-Qu-Mandel)干涉推广到多光子场合,在实验上证实了这种方法是多光子物理中重要而有效的实验方法.

4.3 五光子纠缠态的实验实现^[15]

首次在实验上实现了五光子纠缠态,并演示利用这个纠缠态可实现终端开放的量子隐形传态,即未知量子态被隐形传到终端的三个光子纠缠态上,然而按照三个粒子的合作可被制备在其中任一个粒子上. 利用这个五光子纠缠态,在实验上还演示了量子纠缠浓缩和纠缠交换,为量子中继的实现研究迈开重要一步.

4.4 六光子图态纠缠的实验实现^[16]

该工作通过对多光子操纵技术的进一步发展,从实验上实现了基于光子比特“焊接”技术的量子计算机测试平台,成功地制备出国际上纠缠光子数量多的薛定谔猫态和可以直接用于量子计算的簇态. 该项成果以封面标题形式发表在 2007 年 2 月 1 日出版的英国《Nature》杂志子刊《Nature Physics》上,审稿人评价其是“光学量子计算领域至今最先进实验工作”和“一个出色的成就,为量子计算、量子纠错和量子力学基本问题的研究铺平了道路”. 欧洲物理学会称赞该工作“为量子计算机的物理实现迈进了重要一步”.

5 量子隐形传态的研究进展

5.1 两个量子位复合系统量子量子态隐形传输的实验实现^[17]

在国际上首次成功地实现了复合系统量子态隐形传输,首次成功地实现了六光子纠缠态的操纵,这为实用化的量子信息研究开创了新起点. 对于容错量子计算、量子中继、普适量子纠错等重要研究方向具有极其深远的影响,《Nature》网站专门发布了“Press releases”,并在《Nature》杂志“研究亮点”栏目中对该工作进行专门报导,称赞该实验成果是在“在大尺度量子通信研究中取得长足进展”. 该工作入选“2006 年度中国十大科技进展新闻”.

5.2 利用光子和原子量子比特的内嵌存储的量子隐形传输的实验实现^[18]

内嵌存储的量子比特隐形传输是实现大尺度量子通信以及基于测量的量子计算的关键。尽管量子态的隐形传输以及量子比特的存储已经在原则上被证明,然而实现内嵌存储的量子比特的隐形传态在实验上仍旧很困难。

首次通过将光量子比特的态隐形传输至原子的比特上,从实验上实现了内嵌存储的量子比特隐形传输,在实验中,一个未知的极化光子态通过 7m 的距离隐形传输至一个原子比特,并成功地存储了 $8\mu\text{s}$,该原子态可以被转换成光量子态,以用于进一步的量子信息处理。从光子态到原子态的隐形传输并且内嵌了可读存储的实现,使得有效的、可升级的量子网络有望在不久的将来被实现。

6 量子信息处理器的研究进展

量子计算的最终实现取决于能否研制成功物理上可扩展的量子信息处理器,用它来有效地存储和处理量子信息。目前的研究水平离此目标还相差甚远,但科学家满怀信心正在向着这个目标步步逼近。我们在基于固态物理、量子光学和核磁共振量子计算物理实现的基础研究方面取得一系列理论和实验的重要进展。

6.1 在理论上提出一种基于腔 QED 的新型量子信息处理器方案^[19]

通过对腔的泄漏光子进行单光子探测,来实现不同腔中原子之间的纠缠,该方案具有制备效率高、抗噪能力强、易于寻址等优点。《Phys. Rev. Lett.》的审稿人赞道:“在寻求随心所欲的产生量子态的方案中,这可能是一篇里程碑的文章”。另外,利用高 Q 腔单个原子与腔外部单个原子的相互作用,设计了一种可行性很强的基于光子的量子计算方案,它以原子作为中介来实现光子与光子之间的受控相位门操作,该方案按目前的技术水平和抗噪能力是可以实现的,学术界对此予以很高评价。

6.2 提出固态容错量子计算新方案^[20]

固态量子计算被国际学术界认为是最有希望研究成功的途径之一,固态中量子比特之间的固有耦合是其易于扩展集成的优势根源,但在量子计算过

程中往往要求断开量子比特间的这种固有耦合,这是固态量子计算遇到的新难题。我们提出“无相互作用子空间(IFS)”的新概念,利用编码方法可以实现逻辑比特之间的消耦合,同时证实,在实际固态模型中实施逻辑比特的任意操作和受控操作是可行的。进一步,将学术界业已认可的无消相干子空间(DFS)与 IFS 相结合,提出固态容错量子计算新方案,并在实际的固态模型中证明了其可行性。这开辟了固态量子计算的新研究方向。

6.3 实验上实现量子受控非门的隐形传送^[21]

基于量子光学系统的量子计算物理实现是另一种有希望途径,其优点是量子相干性好。但这类方案的不足之处是物理可扩展性差。分布量子计算方案是克服这个缺点的有效方法,即以只含少数量子比特的系统作为节点,采用纠缠通道将这些节点连成量子网络,便可实现量子计算。该方案的可行性取决于在相距甚远的节点之间能否实现两比特的量子受控门操作这一关键问题。特别是,在光子与节点量子比特之间非强耦合的条件下能否实现确定性的受控非门操作更是至关重要的问题。我们运用纠缠光子对在实验上将某个节点的两比特受控门操作经由纠缠量子通道隐形传送到远处的另一个节点上,实现了两个节点之间的确定性受控门操作,这个操作的平均保真度达到 0.84。《Phys. Rev. Lett.》的审稿人认为“这是向分布量子计算的实现迈出的重要一步”。

6.4 实验上实现独立光子间的量子逻辑门^[22]

光子之间的相互作用非常微弱,在实验上要实现两个独立光子之间的受控非门操作是相当困难的。利用五光子纠缠技术,首次实现了非破坏性可升级的独立光子之间的量子逻辑门,这是线性光学量子计算研究中最基本和重要的一步。作为这种量子逻辑门的一个重要应用例子,还进一步在实验上用它来实现完全的量子隐形传态。

6.5 混合态量子几何相的实验研究^[23]

几何相是量子理论的重要概念,但什么是量子混态的几何相却尚未搞清楚。我们利用核磁共振(NMR)实验技术完成具备不同噪声的量子混态的制备,观测到了任意量子态的几何相。该工作受到国际学术界的高度关注。

6.6 利用光子比特实现 Shor 量子分解算法^[24]

我们在国际上首次用光子比特设计了一套线性光学网络,实验演示了 $15 = 3 \times 5$ 这个质数因子分解,并且确认了量子计算中多体纯纠缠的存在,验证了量子加速的根源问题.该工作获得了国际学术界的关注和认可.麻省理工学院教授 Seth Lloyd 评价该实验是“迈向光学量子计算的必要一步”.美国物理学会以“量子计算的重大突破”为题发布新闻稿,称赞“这一富有创造性的工作将有助于进一步应用于物理化学建模和超快搜索”.英国科技新闻杂志《New Scientist》以《量子计算威胁我们的机密数据》为题对实验做了长篇报道,称“出现能运行 Shor 算法的量子计算机具有极为深远的意义:这意味着未来量子计算机能够轻松地破解我们银行帐号,商业和电子商务数据使用的密码.”此外,美国的《Science News》、德国的《Innovations Report》等其他多家科学期刊和网站也纷纷报道了该工作.

6.7 首次证明“量子开关”可被局域识别,为量子信息处理提供了一个实用方法^[25]

此前,物理学家们证明了量子门操作可以被准确地识别,但该方法需要量子纠缠作为基本资源,而量子纠缠在现阶段实验中获取、保存与传输都有很大难度,因此实验实现的难度巨大.

我们利用么正变换的基本性质,证明了量子门的识别过程中可以不需要耗费纠缠资源,仅使用局部操作和传统手段就可以完成识别功能,这一成果为量子信息处理过程的量子门操作识别和量子通信通的识别提供的一个很好的工具.审稿人评价“对我们理解量子操作具有重要贡献”.

7 量子信息应用研究的进展

7.1 利用纠缠光子对在实验上检验了 Kochen - Specker 理论^[26]

在量子物理学中,隐变量理论一直在挑战着量子力学的完备性. Bell 不等式在实验上的违背证实了这种隐变量是不存在的,量子力学是完备的.但这个结论仅适合于类空事件的场合. Kochen - Specker 理论更深刻揭示出与环境无关的隐变量(NCHV)与量子力学的不相容性,但以往只有两个对 NCHV 进行统计性检验的实验.我们完成了一个“全有或全无”类型的对 NCHV 的非统计性的实验检验,实验结果有力地说明了量子力学的正确性.

7.2 首次利用核磁共振实现了量子博弈实验^[27]

实验上验证了在量子博弈中,如果两个参与人都选择了量子策略,他们将获得双赢的结果,而在经典博弈中,任何一个理性的参与人都不可能获胜.这个有趣的研究成果,在国际学术媒体中引起广泛的兴趣,美国和英国物理学会发表了许多报道和评价.

7.3 实验上实现高精度量子相位测量^[28]

应用双模光子数态和自己独创的多光子投影测量方法,实验测得的相位精度超过相应的标准量子极限.该方法最有希望逼近海森伯极限.著名的美国物理学科网站以《测量精度冲破了标准量子极限》为题做了专文报道.

7.4 实验上研制成功“量子赌博机”^[29]

这是宏观上展示量子力学反常行为的奇妙机器,其功能可抑制“庄家”的欺骗,在未来的量子信息产业中可能成为一种必备的商用机器.该文章发表后《Nature》在其“研究亮点”栏目专文中作了报导,美国物理学科网站也以《物理学家建立量子赌博机》为题予以长篇报道.

8 结束语

量子信息技术已经成为各国战略竞争的焦点之一,我们有幸在起跑线上加入到这场关系到国家重大利益的竞争之中,就必须义无反顾地担负起这份历史责任.在这个新兴领域中为我国争得重要的一席之地.面对着这个巨大的挑战和难得的机遇,我们将以量子通信网络和量子计算机为研究目标,艰苦奋斗,永不放弃.雄关漫道真如铁,无限风光在险峰!

参 考 文 献

- [1] Shor P W. Proceedings of the 35th IEEE Symposium on Foundations of Computer Science. 1994, 20
- [2] Duan L M, Guo G C. Phys. Rev Lett. ,1997, 79 : 1953 ; Phys. Rev. ,1998, 57 737 ;1998 57 2399
- [3] Kwiat P G *et al.* Science ,2000 ,290 498 ; Kielpinski D *et al.* Science ,2001 ,291 :1013 ; Viola L *et al.* Science ,2001 ,293 : 2059
- [4] Duan L M , Guo G C. Phys. Rev Lett. ,1998 ,80 4999
- [5] Huang Y F , Li W L , Li C F *et al.* Phys. Rev. A ,2001 ,64 : 032305
- [6] Chefles A. Contemp. Phys. ,2000 ,41 404
- [7] Zheng S B , Guo G C. Phys. Rev Lett. ,2003 ,85 :2392
- [8] Osnaghi S *et al.* Phys. Rev. Lett. ,2001 87 037902

- [9] Han Z F , Mo X F , Gui Y Z *et al.* Appl. Rev. A , 2005 , 86 : 221103 ; Mo X F , Zhu B , Han Z F *et al.* Opt. Lett. , 2005 , 30 : 2632
- [10] Chen T Y , Zhang J , Boileau J C *et al.* Phys. Rev Lett. 2006 , 96 :150504
- [11] Xiang G Y , Li J , Yu B *et al.* Phys. Rev. A , 2005 , 72 :012315
- [12] Xiang G Y , Li J N , Guo G C. Phys. Rev. A , 2005 , 71 :044304
- [13] Wang Z W , Zhou X F , Huang Y F *et al.* Phys. Rev Lett. , 2006 , 96 :220505
- [14] Xiang G Y , Huang Y F , Sun F W *et al.* Phys. Rev Lett. , 2006 , 97 :023604
- [15] Zhao Z , Chen Y A , Zhang A N *et al.* Nature , 2004 , 430(54—58) :02643 ; Zhao Z , Yang T , Chen Y A *et al.* Phys. Rev Lett. 2003 , 90 :207901
- [16] Lu C Y , Zhou X Q , Gühne O *et al.* Nature Physics , 2007 , 3 :91
- [17] Zhang Q , Goebel A , Wagenknecht C *et al.* Nature Physics , 2006 , 2 :678
- [18] Chen Y A , Chen S , Yuan Z S *et al.* Nature Physics , 2008 , 4 : 103
- [19] Duan L M , Kimble H J. Phys. Rev Lett. , 2003 , 90 :253601
- [20] Zhou X X , Zhou Z W , Guo G C *et al.* Phys. Rev Lett. , 2002 , 89 :197903 ; Zhou Z W , Yu B , Zhou X X *et al.* Phys. Rev Lett. , 2004 , 93 :010501
- [21] Huang Y F , Ren X F , Zhang Y S *et al.* Phys. Rev Lett. , 2004 , 93 :240502
- [22] Bao X H , Chen T Y , Zhang Q *et al.* Phys. Rev Lett. , 2007 , 98 :170502
- [23] Du J , Zou P , Shi M *et al.* Phys. Rev Lett. , 2003 , 91 :100403
- [24] Lu C Y , Browne D E , Yang T *et al.* Phys. Rev Lett. , 2007 , 99 :250504
- [25] Zhou X F , Zhang Y S , Guo G C. Phys. Rev Lett. 2007 , 99 : 170401
- [26] Huang Y F , Li C F , Zhang Y S *et al.* Phys. Rev Lett. , 2003 , 90 :250401
- [27] Du J , Li H , Xu X *et al.* Phys. Rev Lett. , 2002 , 88 :137902
- [28] Sun F W , Liu B H , Gong Y X *et al.* Europhysics Letters , 2008 , 82 :24001
- [29] Zhang P , Zhang Y S , Huang Y F *et al.* Europhysics Letters , 2008 , 82 :30002

· 书评和书讯 ·

探索高等科教书店物理类书目推荐(16)

作者	书名	定价	作者	书名	定价
C. Rovelli	量子引力(影印)	76.0	J. C. Simo	计算非弹性(影印)	59.0
A. Altland	凝聚态场论(影印)	99.0	D. P. Landau	统计物理中的蒙特卡洛方法 第2版(影印)	79.0
S. Pokorski	规范场理论 第2版(影印)	99.0	G. B. Arfken	物理学家用的数学方法 第6版(影印)	189.0
M. B. Green	超弦理论 第1、2卷(影印)	125.0	冯康、秦孟兆	哈密尔顿系统的辛几何算法	68.0
O. Svelto	激光原理 第4版(影印)	99.0	楼森岳	非线性数学物理方法	59.0
E. Bick	物理学中的拓扑和几何(影印)	65.0	王竹溪	特殊函数概论	34.0
R. Ticcianti	数学家用的量子场论(影印)	105.0	S. Doniach	固态物理学家用的格林函数(影印)	49.0
J. S. Liu	科学计算中的蒙特卡罗策略(影印)	48.0	Michael Reed	现代数学物理方法 1-4卷(影印)	239.0
许淑艳	蒙特卡罗方法在实验核物理中的应用(修订版)	31.0	杨华军	数学物理方法与计算机仿真	36.0
马文淦	计算物理学	37.0	王纪林	特殊函数与数学物理方法(第2版)	11.5
R. Temam	连续力学中的数学模型(影印)	68.0	S. Chandrasekhar	液晶 第2版(影印)	78.0
H. M. Staudenmaier	用个人计算机作物理实验(影印)	49.0	J. W. Mullin	结晶学 第3版(影印)	83.0
B. Chopard	物理系统的元胞自动机模拟 · 祝玉学译	38.0	王新久	液晶光学和液晶显示	59.0
Mohamed Daoud	软物质物理学(影印)	56.0	向涛	d波超导体	48.0
陆坤权	软物质物理学导论	35.0	T. Schneider	高温超导中的相变方法(影印)	56.0
胡希伟	等离子体理论基础	42.0	韩汝珊	高温超导物理	19.0
孙承纬	高密度 Z 箍缩等离子体物理学	26.0	张裕恒	超导物理	22.6
孙景文	高温等离子体 X 射线谱学	33.0	D. W. Lynch	高温超导体的光电子谱研究	48.0
李国政	等离子体发射带电粒子束源	10.0	Sadri Hssani	数学物理 1、2卷(影印)	158.0
T. J. M. Boyd	等离子体物理学(影印)	94.0	Jefferys	数学物理方法 第3版(影印)	110.0

我店以经营科技专著为特色 以为科技工作者和大专院校师生提供优质服务为宗旨 欢迎广大读者来店指导或来电查询。

电话 010-82872662、62556876、89162848

网址 <http://www.explorerbook.com>

电子邮箱 explorerbook@vip.163.com

通讯地址 北京市海淀区海淀大街31号313北京探索高等科教书店

邮政编码 100080

联系人 徐亮、秦运良